

УДК 629.122

В.А. Иванков, инж.

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ХОДКОСТИ МАЛЫХ СУДОВ И ИХ ДВИГАТЕЛЬНО-ДВИЖИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ И ЭКОЛОГИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

Введение

При проектировании двигателей и двигательных установок для малых судов, в условиях невозможности получения технических требований на них от судостроителя, двигателист вынужден, разрабатывая техническое задание и формулируя идеологию двигательного-двигательного комплекса, анализировать направления комплексной оптимизации судовой транспортной системы во всем ее объеме с учетом региона эксплуатации.

Выдающийся ученый-кораблестроитель академик А.Н. Крылов писал о том общем, что всегда требуется от всякого судна: „Это общее-суть мореходные качества корабля: плавучесть, остойчивость, ходкость, плавность и малость размахов качки, поворотливость”[1].

Ходкость определяется как способность судна двигаться с определенной скоростью при наименьшей затрате мощности энергетической установки [2].

Учение о ходкости разделяется на две части: сопротивление судна как задача придания судну данного водоизмещения формы обводов и главных размеров, при которых оно при заданной скорости имело бы наименьшее сопротивление; судовые движители, как задача выбора движителя, создающего наибольшее движущее усилие при наименьшей затрате мощности двигателя [3]. Двигателист, соответственно, должен обеспечить необходимую мощность судового агрегата при его экономичности во всем диапазоне режимов работы.

Постановка проблемы

Целью данной работы является выявление основных направлений комплексной оптимизации ходкости малых судов и их двигательных-двигательных комплексов по экономическим и экологическим критериям при водоизмещающем и переходном режимах движения судна, с учетом существующих юридических, технических, и физических ограничительных условий.

Решение проблемы позволит разработать семейства современных экономичных и экологических силовых агрегатов малых судов со сквозной идеологией и создаст предпосылки для создания судостроителями новых семейств судов с экономичными режи-

мами движения, что позволит малому флоту Украины развиваться даже в условиях перманентного повышения цен на топливо.

Выделение нерешенных задач

В классической теории большого судостроения вопросы ходкости разработаны фундаментально и полнообъемно, поэтому применимы к оптимизации ходкости малых судов с учетом их специфики.

Потенциал современных исследований сосредоточен на отработке главных размерений, обводов, движителей для энерговооруженных, быстроходных глиссирующих судов, движущихся в режиме гидродинамического поддержания.

В этой области малого судостроения заметны наибольшие подвижки. К ним относятся работы ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова по отработке обводов однокорпусных катеров с максимальным числом Фруда по водоизмещению равному шести и катамаранов с относительной скоростью более восьми[4].

ЦМКБ “Алмаз” разработало и внедрило автоматически управляемые днищевые интерцепторы на 120-тонном катере со скоростью 50 узлов, винты с интерцепторами, вентилируемый водометный движитель[5].

Разработаны приводы с частично-погруженными суперкавитирующими винтами для скоростей 20-50 узлов [6], двухскоростные коробки передач с непрерывающимся потоком мощности для частично-погруженных винтов и винтов с подсосом воздуха, вентилируемые выхлопными газами через жиклеры в ступице винты PVS фирмы “Меркюри” [7].

Работ по исследованию малых судов с переходным режимом движения значительно меньше.

Совсем мало работ по судам водоизмещающего режима движения, однорежимным и двухрежимным корпусам[8]. Сложившаяся ситуация имеет свои корни, возникшие в 20 веке. Быстрый рост энерговооруженности судов на фоне относительно дешевого топлива вызвал эйфорию погони за скоростями и безосновательную уверенность, что при имеющемся в распоряжении избытке энергии можно несколько упрощенно относиться к законам природы и недооценивать ее мощь. Особенно разрушительно этот подход сказался на малом флоте в силу его предрасполо-

женности к режимам движения с гидродинамическим поддержанием. Были утеряны тысячелетние наработки по ходкости и остойчивости малых судов, их способности к активному и пассивному штормованию. Все случившееся стало причиной кризиса малого флота, преодолеть который придется современному судостроителю.

Постановка задачи

Определение основных параметров элементов малого судна и режимов его движения с целью минимизации потребной мощности при заданном водоизмещении с учетом специфики судоходных для малых судов водных ресурсов Украины.

Определение граничных условий для решения поставленной задачи.

Решение задачи. Специфика судоходных ресурсов Украины и требования к малым судам

Судоходные ресурсы Украины имеют следующую специфику:

- около 50% акваторий имеют соленые или солоноватые воды;
 - в теплый период года вода имеет высокую температуру, при которой бурно развиваются водоросли;
 - велика доля мелководных водоемов;
 - на акваториях мелководных водохранилищ существует крайне неблагоприятный для малых судов режим волнообразования;
 - водные экосистемы разбалансированы.
- Из вышеизложенного вытекают требования к элементам малого судна:
- корпус судна и движитель должны быть коррозионноустойчивы в морской воде;
 - система охлаждения двигателя должна быть воздушной или двухконтурной, устойчивой к засорениям, и морской воде повышенной температуры;
 - для причаливания к необорудованному берегу и движения на малых глубинах осадка судна должна быть минимальна, а движитель предохранен от повреждений при плавании на мелководье;
 - корпус судна должен обеспечивать безопасное плавание в водохранилищах и прибрежных районах морей, возможность активного и пассивного штормования в этих акваториях;
 - двигатель должен наносить минимальный вред экосистеме за счет снижения не только удельных, но, главным образом, абсолютных объемов выбросов вредных веществ, обеспечиваемый минимизацией мощности.

Определение граничных условий

Регистр судоходства Украины накладывает на малые суда следующие ограничения:

- максимальная длина-20 м. Минимальная длина, ограничиваемая физически-2,5-3 м.;
- минимальная допустимая скорость на спокойной воде судна с механическим двигателем-6 узлов (11 км/ч). Из этого ограничения можно рассчитать зависимость минимального числа Фруда от длины судна по формуле:

$$Fr_L = \frac{3,1}{\sqrt{gL}}, \quad (1)$$

где Fr_L – минимально допускаемое число Фруда.

3,1 – минимальная скорость, м/с;

$g = 9,81$ м/с²;

L – длина судна по ватерлинии, м.

Максимальная мощность стационарного двигателя-136 л.с.

Выбор варианта задания исходных данных судна

Для определения основных параметров судна обычно задается его водоизмещение. Скорость движения и мощность двигателя могут задаваться или определяться. В данном случае, с целью полнообъемной минимизации потребной мощности, оптимальная скорость должна определяться.

Мощность двигателя судна

Необходимая для движения судна мощность двигателя определяется формулой:

$$N_e = \frac{\sum_{i=1}^n R_i v}{\eta \eta_{ек} \eta_{ен} \eta_p}, \quad (2)$$

где R_i – составляющие полного сопротивления движению судна;

v – скорость судна;

η – КПД винта;

$\eta_{ек}$ – коэффициент влияния корпуса;

$\eta_{ен}$ – КПД валопровода;

η_p – КПД редуктора.

Проанализируем влияние составляющих формулы (2) на минимизацию мощности двигателя.

Корпус судна

Наиболее весомым фактором снижения потребной мощности является скорость, поскольку она входит во все составляющие сопротивления движению судна в третьей степени. Однако, с одной стороны, ее минимум ограничен Регистром, с другой – существуют благоприятные и неблагоприятные

диапазоны чисел Фруда, связанные с пиками и провалами волнового сопротивления движению [9] В рамках этих ограничений определенный диапазон длин малых судов попадает на пик волнового сопротивления при числе Фруда 0,5 (рис.1).

Из рисунка следует, что суда длиной более 7 – 8 метров могут реализовывать экономичный режим водоизмещающего движения с числами Фруда равными или менее 0,35 – 0,37, причем в этом диапазоне некоторое уменьшение относительного удлинения не ведет к резкому увеличению потребной мощности. Именно в длине 6 – 8 м. заключается секрет ходкости лодок народной постройки. Судам с длиной ватерлинии от 3 до 7 метров, попавшим на пик волнового сопротивления, необходимо уйти с него, увеличив скорость примерно до числа Фруда 0,62, перейдя в переходной режим движения. При этом, с целью снижения сопротивления, удлинение и относительное удлинение должно увеличиться, а корпус—приобрести транец и несущую днищевую поверхность. С целью уменьшения сопротивления и улучшения мореходных качеств в этом диапазоне становятся перспективными многокорпусные суда.

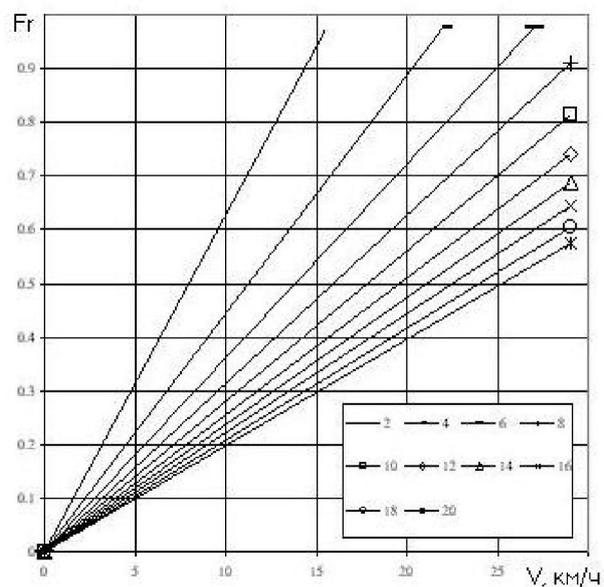


Рис. 1. Зависимость числа Фруда от длины и скорости судна

Двигатель

Из рис. 1 и принятых режимов движения следует, что скорость движения малых судов всех длин будет находиться в пределах 11 – 18 км/ч. Для получения максимального КПД необходим большой диаметр винта и низкая частота его вращения, что противоречит требованию малой осадки. Потребуется комплекс решений, примиряющий эти противоречия.

Валопривод и передача

В отличие от больших судов малые отличаются большим разнообразием схем движительных установок. В этом имеются преимущества и недостатки. С одной стороны, имеется возможность снизить обороты винта до оптимальных, с другой—приходится мириться с пониженным, по сравнению с прямым валопроводом, КПД передачи.

В этой ситуации неизбежно применение специальных поворотных-откидных колонок, подвесных лодочных моторов и мотор-весла с насадками на винтах. Повышение КПД винта превысит потери в передаче. Кроме этого повысится управляемость, уменьшится влияние корпуса на винт, улучшится стабильность движения судна на волнении.

Двигатель

Данная оптимизация направлена не только на снижение необходимой мощности, но, в конечном счете, на максимальное использование энергии сгорающего топлива. В результате комплексной работы удельная потребная мощность снизится примерно до 2-5 кВт/т. водоизмещения, а цилиндрические мощности двигателей будут составлять 3-6 кВт. Поэтому, не смотря на то, что дизель в этих обстоятельствах является предпочтительным, нижний диапазон мощности придется обеспечивать четырехтактным бензиновым двигателем. Верхний диапазон ряда заполнится дизельным семейством. Дизельные параметры будут улучшены за счет применения наддува и промежуточного охлаждения.

Выводы

Выявленное при комплексной оптимизации разделение малых судов по режимам движения, абсолютные и относительные скорости малых судов, связанные с их длиной по ватерлинии, определенные граничные условия позволяют перейти к уточнению диапазона потребных мощностей и определению типоразмерных рядов движителей и силовых агрегатов.

Список литературы:

1. Крылов А.Н. Мои воспоминания. – Л.: Судостроение, 1979. – 352 с.
2. Проектирование пропульсивной установки / В.П. Шостака, В.И. Гершаник, В.П. Кот, Н.С. Бондаренко / Под ред. проф. В.П. Шостака. – Николаев: Освіта, 2003. – 499 с.
3. Дорогостайский Д.В. Теория и устройство судна. – Л.: Судостроение, 1964. – 510 с.
4. Катера и яхты. – 2002. – № 4 (182). – С. 29 – 32.
5. Катера и яхты. – 1999. – № 4 (170). – С. 32 – 50.
6. Катера и яхты. – 2000. – № 1 (171). – С. 13 – 16.
7. Катера и яхты. – 1999. – № 2 (168). – С. 30.
8. Катера и яхты. – 2003. – № 3 (185). – С. 8 – 11.
9. Справочник по малотоннажному судостроению / Сост. Б.Г. Мордвинов. – Л.: Судостроение, 1988. – 576 с.